

## زمین‌شناسی و کانه‌زایی طلا در محدوده غرب کسنزان، جنوب سقز، استان کردستان

شجاع‌الدین نیرومندا، حسینعلی تاج‌الدین<sup>(\*)</sup> و سبا حقیری قزوینی<sup>۳</sup>

۱. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران
۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳. کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۱

### چکیده

محدوده طلای غرب کسنزان در ۱۴ کیلومتری جنوب سقز واقع است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در این گستره، مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده متعلق به پرکامبرین و کرتاسه شامل شیست، فیلیت و مرمر می‌باشند که توسط توده‌های گرانیتوئیدی قطع شده‌اند. میزبان اصلی کانی‌سازی طلا، یک توده کوارتز سینیتی می‌باشد، که در راستای یک پهنه تَرشی با راستای شمال غرب-جنوب شرق نفوذ کرده است. کانسنگ‌های طلا دار، بخش‌های به‌شدت دگرشکل و دگرسان شده از توده کوارتز سینیتی هستند که واجد فابریک‌های میلوئیتی-اولترامیلونیتی بوده و با مجموعه‌ای از دگرسانی‌های سیلیسی، سرسیتی، کربناتی و سولفیدی همراه هستند. کانی‌شناسی کانسنگ ساده و شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، آرسنوپیریت، مگنتیت، طلا و ترکیبات هیدروکسیدی آهن می‌باشد. طلا در اندازه‌های کوچک‌تر از ۴۰ میکرون، به‌صورت آزاد در کوارتز و نیز به‌صورت میان‌بار در پیریت مشاهده شده است. مطالعات میان‌بارهای سیال بر روی کوارتزهای کانسنگ‌های طلا دار، بیانگر دمای همگن‌شدگی سیالات کانه‌ساز در بازه ۱۳۷/۴ تا ۲۴۰/۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۷/۱۶ تا ۱۲/۰۶ درصد وزنی معادل نمک طعام است. مقایسه ویژگی‌های مطالعه شده در محدوده طلای غرب کسنزان با ویژگی‌های شاخص کانسارهای طلا، نشان می‌دهد که این کانسار از نظر ویژگی‌های زمین‌شناختی و کانی‌سازی بیش‌ترین شباهت را با ذخایر طلای تیپ کوهزایی داراست.

**واژه‌های کلیدی:** طلای تیپ کوهزایی، میان‌بارهای سیال، کسنزان، سقز.

### مقدمه

موقعیت‌های مرتبط با کمربندهای چین‌خورده و کوهزایی است که در حاشیه فعال قاره‌ای رخ می‌دهند (Groves et al., 1998, 2003; Goldfarb et al., 2005; Goldfarb and Groves, 2015). در ایران، با توجه به موقعیت ژئودینامیکی پهنه دگرگونی سهند-سیرجان و قرار داشتن آن در موقعیت رسوبات برهم‌افزاینده حاشیه قاره‌ای فعال

کانسارهای طلای کوهزایی، یکی از مهم‌ترین انواع ذخایر طلا در کمربندهای دگرگونی می‌باشند که در پی فرآیندهای کوهزایی تشکیل شده و بیش از نیمی از طلای تولیدی جهان را به خود اختصاص داده‌اند. از جمله محیط‌های زمین‌شناسی مستعد این تیپ از کانی‌سازی،

\* نویسنده مرتبط: h.tajeddin@modares.ac.ir

دو بر صیقلی تهیه و به لحاظ ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری، ساخت، بافت و میان‌بارهای سیال مطالعه شدند. به‌منظور مطالعات زمین‌شیمی طلا و عناصر کمیاب، هفت نمونه از رخنمون‌های کانسنگی و زون‌های دگرسانی مربوط به توده کوآرتز سینیتی بزرگتر (شکل ۲)، برداشت و پس از آماده‌سازی، به آزمایشگاه شرکت MET SOLVE کانادا ارسال و به روش ICP-MS آنالیز شدند. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی با استفاده از دستگاه میان‌بار سیال مدل Linkam THMSG600 متصل به میکروسکوپ ZEISS و مجهز به کنترل‌کننده حرارتی TMS94 و سردکننده LNP در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شده است. دامنه حرارتی دستگاه، ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کالیبراسیون دستگاه در مرحله گرمایش با دقت  $\pm 0.6$  درجه است که با نیترات سزیم با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه سانتی‌گراد و در مرحله سرمایش با دقت  $\pm 0.2$  درجه سانتی‌گراد و با ماده استاندارد n-Hexane با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی‌گراد انجام شد. میزان شوری به‌صورت معادل درصد وزنی نمک طعام (wt. % NaCl) و از طریق دمای ذوب آخرین قطعه یخ ( $T_{m_{ice}}$ ) با استفاده از فرمول ارائه‌شده توسط Hall et al. (1988) و مقایسه با روش Sterner et al. (1988) محاسبه شده است.

### زمین‌شناسی

کانسار طلای کسنزان، در شمال غرب پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان (Mohajjel et al., 2003) و در جنوب غرب نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰/۰۰۰ ورقه سقز (حریری و فرجندی، ۱۳۸۲) قرار دارد. رخنمون‌های سنگی گستره کانسار، مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده با ترکیب سنگ‌شناختی کلریت شیست، گنایس و متاریولیت منسوب به پرکامبرین (واحد  $PC^{sch}$ ) و فیلیت همراه با میان‌لایه‌های مرمری با سن کرتاسه (واحد  $K^{ph}$ ) را شامل می‌شود (شکل ۱). در این مجموعه نفوذی‌های گرانیتوئیدی با سن بعد از کرتاسه تزریق شده‌اند. واحدهای رخنمون یافته در گستره، چندین فاز دگرشکلی از جمله چین‌خوردگی، میلونیتی شدن مرتبط با عملکرد پهنه بُرشی و گسلش را نشان می‌دهند. کمربند اصلی کانی سازی طلا در محدوده

(Sheikholeslami, 2002)؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۸۴)، این پهنه موقعیت مناسبی را برای تشکیل ذخایر طلای تیپ کوهزایی فراهم آورده است.

مطالعات اکتشافی که در دو دهه اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در شمال غرب پهنه سنندج-سیرجان به انجام رسیده است، به اکتشاف ۱۰ ذخیره طلا در محدوده سقز-پیرانشهر منجر شده است که از آن میان، می‌توان به کانسارهای طلای کوهزایی کرویان (حیدری، ۱۳۸۳)، قلقله (علی‌یاری، ۱۳۸۵؛ Aliyari et al., 2009)، قبغلوچه (نصرت‌پور، ۱۳۸۶؛ تاج‌الدین، ۱۳۹۰) و خراپه (نیرومند، ۱۳۸۹ و Niroumand et al., 2011) اشاره داشت.

محدوده طلای غرب کسنزان، در ۱۴ کیلومتری جنوب سقز و ۷/۵ کیلومتری غرب روستای کسنزان واقع شده است (شکل ۱) و یکی از ذخایر طلای شناسایی شده در شمال غرب پهنه سنندج-سیرجان است که در راستای عملیات اکتشافی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور شناسایی و معرفی شده است (تاج‌الدین، ۱۳۸۷). در پژوهش حاضر، ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرشکلی، دگرسانی، کانی‌شناسی و میان‌بارهای سیال در این ذخیره مطالعه شده و با توجه به ویژگی‌های مذکور، تیپ کانه‌زایی و خاستگاه آن تعیین شده است. بدیهی است که مطالعه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی این کانسار می‌تواند برای اکتشاف این تیپ از ذخایر طلا در بخش‌هایی از شمال غرب پهنه سنندج-سیرجان، که شرایط زمین‌شناسی مشابهی دارند، مورد استفاده قرار گیرد.

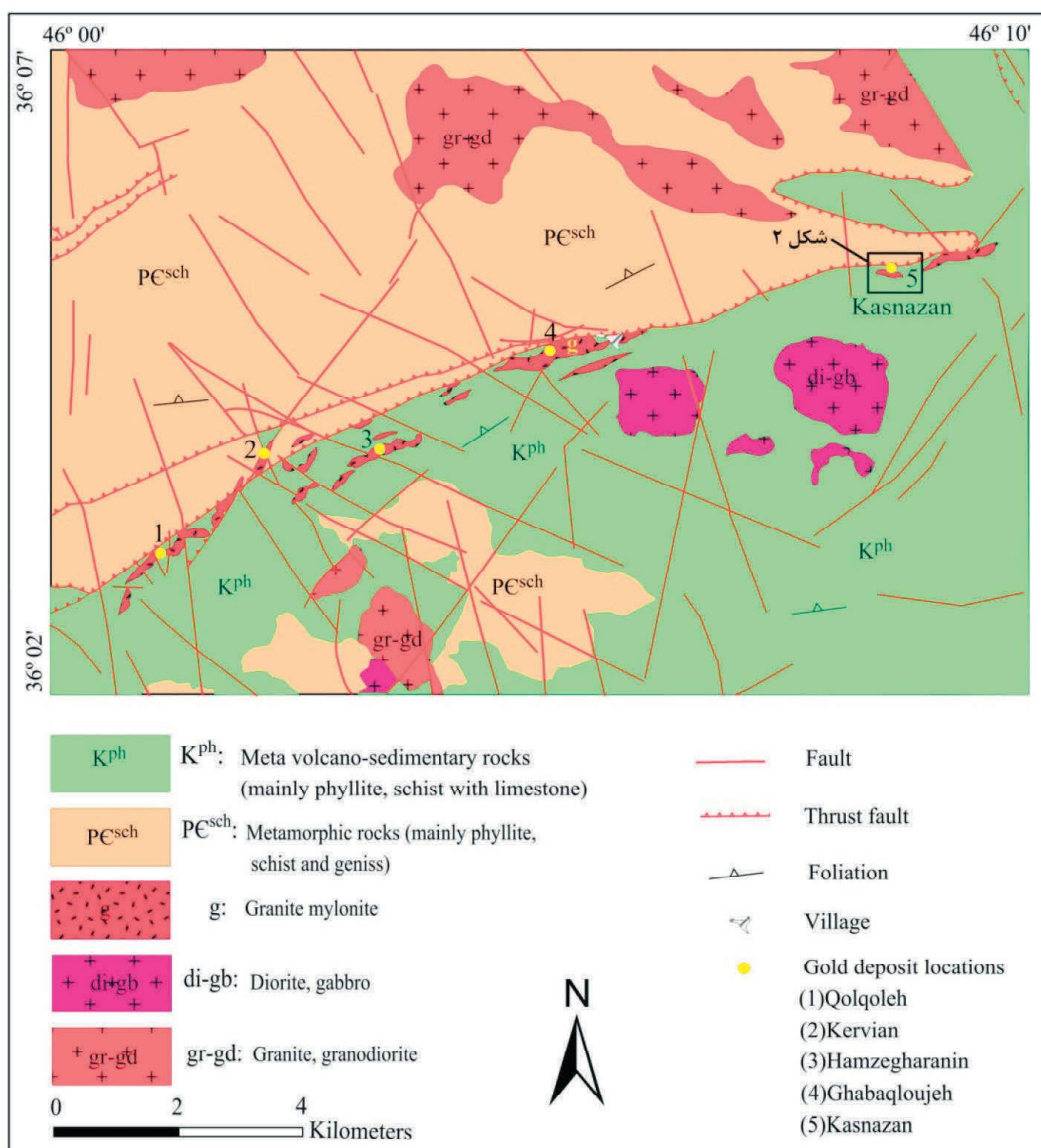
### روش مطالعه

این پژوهش در دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. مطالعات صحرایی شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی (با مقیاس ۱:۵۰۰۰) و برداشت نمونه از پهنه‌های دگرسانی و کانسنگی در محدوده غرب کسنزان می‌باشد. در این مرحله بالغ بر ۴۰ نمونه از رخنمون‌های سنگی و زون‌های دگرسانی و کانسنگی برداشت و به آزمایشگاه‌های مربوطه ارسال شد. در مرحله مطالعات آزمایشگاهی، پس از بررسی‌های مقدماتی، از میان نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۱۰ مقطع نازک، هشت مقطع نازک-صیقلی و چهار مقطع

لایه‌هایی از میکاشیست و متاآندزیت می‌باشد که با یک مرز تراسیتی بر روی ترادف‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه قرار گرفته است. روند عمومی برگوارگی کلریت شیست‌های گستره، شمال‌شرق-جنوب‌غرب (N40-70E) با شیب ۲۵ تا ۵۰ درجه به سوی شمال‌غرب می‌باشد. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این واحد به ترتیب فراوانی شامل پلاژیوکلاز (اولیگوکلاز-آندزین سدیک) و کوارتزهای هم‌رشد با بافت موزاییکی، کلریت، سرسیت، کربنات و مقادیر ناچیزی بیوتیت است که در مجموع از جهت‌یافتگی عمومی برگوارگی دگرگونی تبعیت می‌کنند.

غرب کسنزان، منطبق بر یک پهنه بُرشی دگرسان شده با راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق (N55-75E) و شیب عمومی ۲۵ تا ۴۰ درجه به سمت شمال‌شرق می‌باشد (شکل ۲). توده‌های گرانیتوئیدی دوکی شکل، که در امتداد این پهنه نفوذ کرده و به دنبال آن به شدت دگرشکل و دگرسان شده‌اند، میزبان اصلی کانسنگ‌های طلا بوده و حجم اصلی ذخیره را دربر دارد. به‌طور خلاصه زمین‌شناسی واحدهای سنگی در محدوده غرب کسنزان به شرح زیر می‌باشد (شکل ۲):

- واحد  $Pe^{sch}$ : این واحد با رنگ سبز تیره و برگوارگی واضح در شمال گستره گسترش دارد. سنگ‌شناسی واحد Pesch بیشتر از کلریت شیست همراه با میان



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی گستره طلای غرب کسنزان در پهنه بُرشی قفله-کسنزان (تاج‌الدین، ۱۳۹۰)

(شکل ۲). ترکیب نفوذی‌های مذکور، که میزبان اصلی کانسنگ‌های طلا می‌باشند، کوارتز سینیت است و در مقیاس رخنمون و نمونه دستی به صورت متورق و در مقیاس میکروسکوپی با فابریک میلونیته دیده می‌شوند (شکل ۳).

شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، حاکی از آن است که نفوذی‌های مذکور هم‌زمان با فعالیت پهنه برشی میزبان تزریق شده و در حین جابجایی و پس از آن به شدت دگرشکل و دگرسان شده‌اند. تاج‌الدین (۱۳۹۰) فعالیت‌های ماگمایی رخ داده در گستره کانی‌سازی‌های طلای جنوب-جنوب غرب سقز (از جمله گستره مورد مطالعه) را به پالئوسن و به صورت هم‌زمان با تکتونیک نسبت داده است.

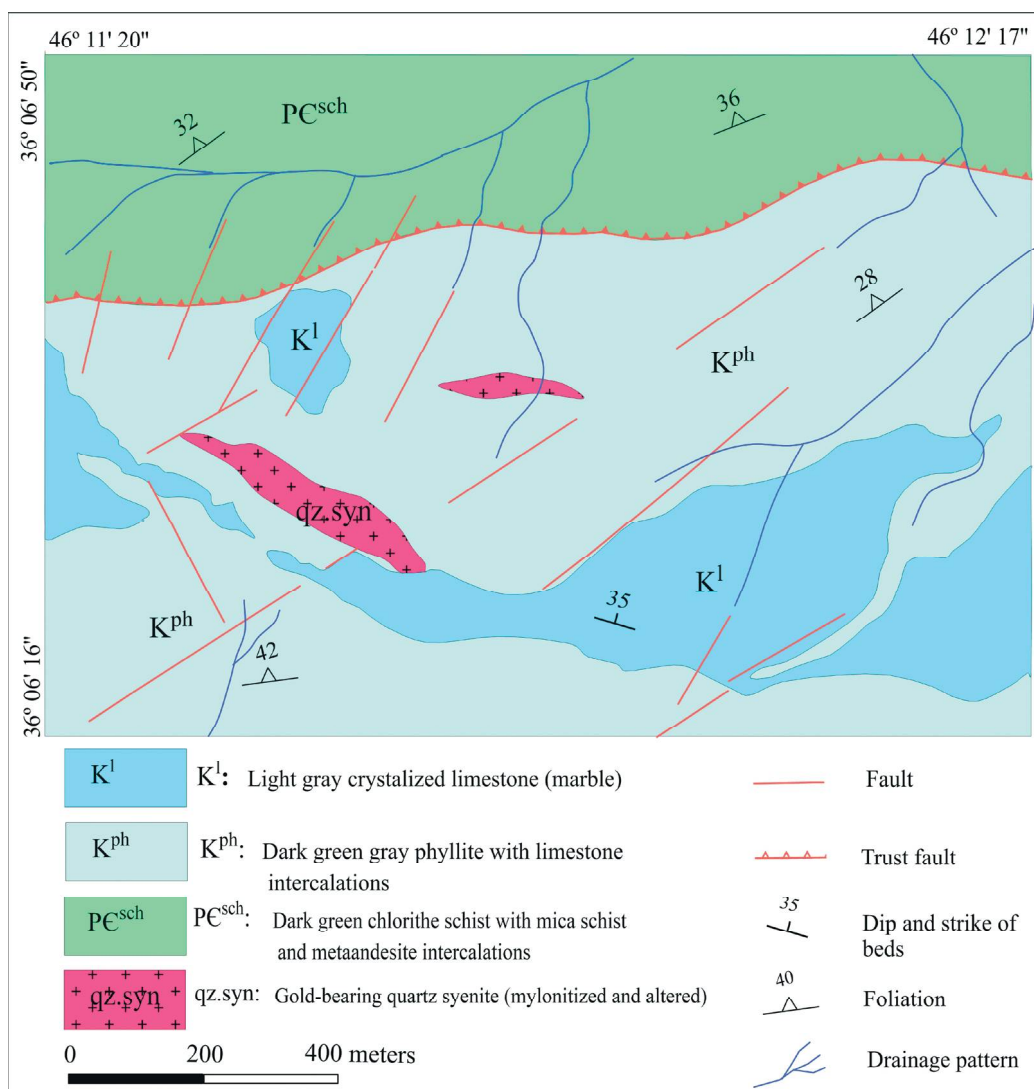
حاشیه‌های گرانیتوئیدهای مذکور، به شدت دگرشکل و دگرسان است و علاوه بر رخداد فابریک‌های میلونیته و اولترامیلونیته، با دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی، سولفیدی و سرسیتی همراه می‌باشند. در این مطالعه، هفت نمونه از بخش‌های کمتر دگرشکل و دگرسان شده توده گرانیتوئیدی جهت مطالعات سنگ‌شناسی برداشت شد. اغلب نمونه‌ها، دارای ترکیب سنگ‌شناسی کوارتز سینیت می‌باشند و در اثر عملکرد پهنه برشی کم‌وبیش دگرشکل شده‌اند (شکل ۳).

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، کانی‌های اصلی و سازنده کوارتز سینیت‌ها را بلورهای فلدسپار آلکالن، پلاژیوکلاز و کوارتز تشکیل می‌دهند. بافت اولیه سنگ، گرانولار است که در اثر عملکرد فرایندهای دگرشکلی بافت کاتاکلاستیک و فابریک میلونیته نشان می‌دهند (شکل‌های ۳-د و ۵). آلکالی‌فلدسپارها از نوع میکروکلین هستند که گاه با بافت‌های پرتیتی و کمتر آنتی پرتیتی همراه هستند. دگرشکلی میلونیته، علاوه بر گسترش خردشدگی و ایجاد بافت کاتاکلاستیک و تبلور مجدد دینامیکی در بلورها، جابجایی ماکلی و نیز خمیدگی (kinkband) در ماکل‌های پلاژیوکلاز را منجر شده است. کوارتزها اغلب تبلور مجدد یافته و با بافت هم‌رشد و خاموشی موجی دیده می‌شوند.

- واحد  $K^{ph}$ : این واحد با رنگ خاکستری تیره و جلای درخشان میزبان اصلی توده‌های گرانیتوئیدی می‌باشد. سنگ مادر واحد  $K^{ph}$ ، توالی‌های ضخیمی از شیل‌های سیلته، شیل‌های کربن‌دار، تناوب شیل و آهک، لایه‌های ضخیم آهکی و آهک دولومیتی خاکستری رنگ هستند که در اثر دگرگونی ناحیه‌ای، به فیلیت با درون لایه‌هایی از آهک دگرگون شده (مرمر) تبدیل شده‌اند. فیلیت‌ها میزبان رگه‌های کوارتزی دگرگون‌زاد در ضخامت چند میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر می‌باشند که فاقد کانه فلزی بوده و به صورت عدسی‌های موازی با برگوارگی مشاهده می‌شوند. بخش‌های فیلیتی همیشه از کانی‌های کوارتز، فلدسپات و میکا تشکیل شده و برگوارگی به نسبت مشخصی به موازات سطح محوری چین‌های منطقه، با امتداد شمال شرق-جنوب غرب و شیبی به سمت شمال غرب را نشان می‌دهند. کانی‌های تشکیل‌دهنده برونزدهای فیلیتی شامل کوارتز، فلدسپات، کلریت، موسکویت-سرسیت، بیوتیت و مواد آلی می‌باشند.

- واحد  $K^l$ : این واحد به صورت درون لایه‌هایی در داخل واحد فیلیتی ( $K^{ph}$ ) مشاهده می‌شوند. میان لایه‌های مذکور، با رنگ ظاهری خاکستری روشن تا کرم، بیشتر از آهک‌های بلورین متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای تشکیل شده‌اند و همراه با فیلیت‌های دربردارنده، در مقیاس‌های مختلف چین‌خورده و تاقدیس و ناودیس‌هایی را تشکیل می‌دهند که سطوح محوری آنها به موازات برگوارگی غالب منطقه است. حریری و فرجندی (۱۳۸۲)، برپایه فسیل‌های شناسایی شده در میان لایه‌های آهکی مذکور، که در خارج از گستره مورد مطالعه درجه‌های کمتری از دگرگونی را تحمل کرده‌اند، سن آبتین-آلبین را برای این واحدهای  $K^{ph}$  و  $K^{ph}$  پیشنهاد کرده‌اند.

- گرانیتوئیدهای میلونیته‌ای (grm): در محدوده غرب کسنزان، دو توده گرانیتوئیدی دوکی شکل با طول‌های حدود ۲۰۰ و ۴۰۰ متر در واحد فیلیتی ( $K^{ph}$ ) نفوذ کرده‌اند



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی غرب گستره کسنزان، توده گرانیتوئیدی اصلی، با راستای شمال غرب، جنوب شرق در واحد  $K^{ph}$  تزییق شده است (تاج‌الدین، ۱۳۹۰)

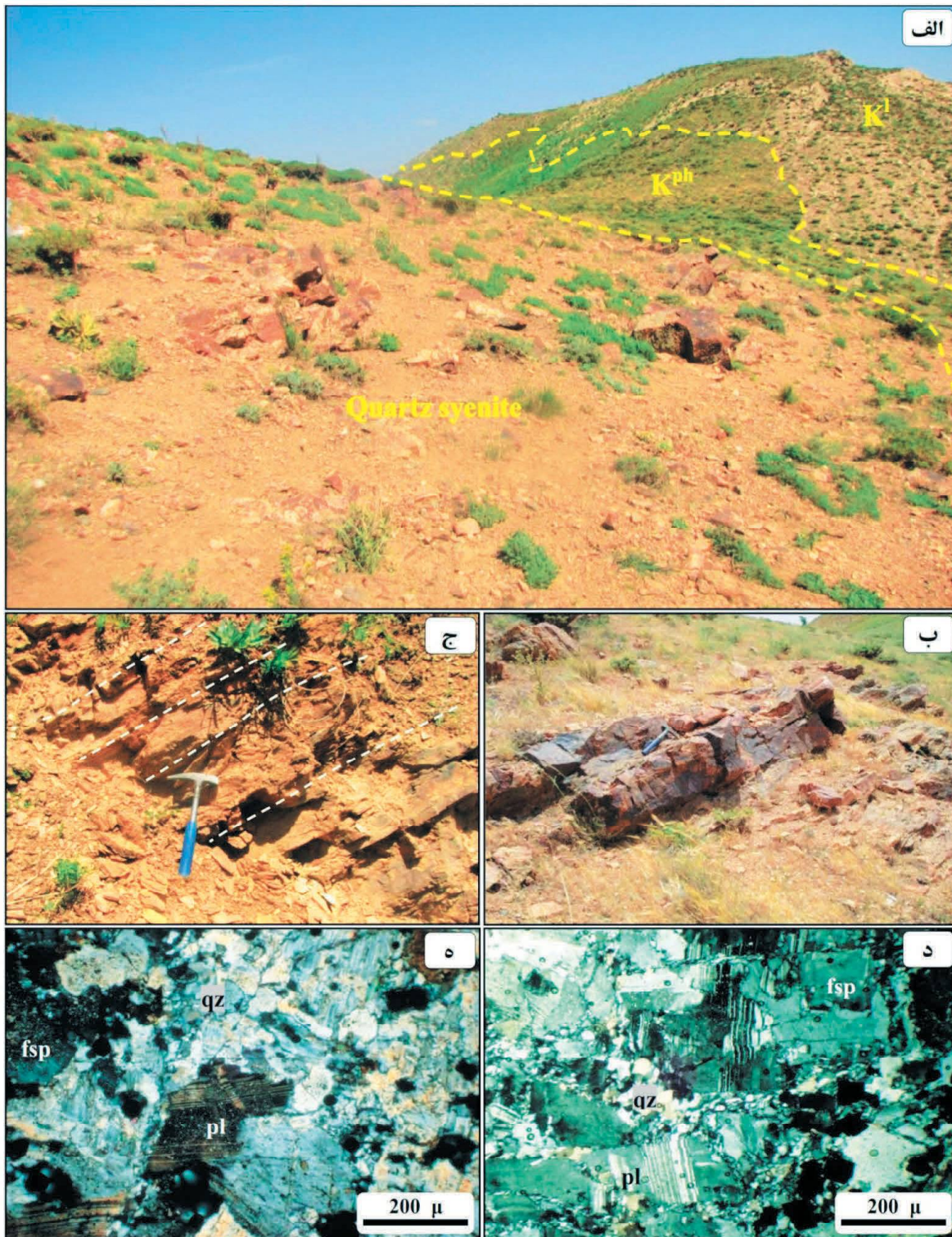
## بحث

### کانی‌سازی

بالایی را در همراهی با کانسنگ‌های طلا دار نشان می‌دهند. حجم و عیار کانی‌سازی طلا در گستره غرب کسنزان، به واسطه ساختارهای میزبان کانه‌زایی و شیوه دگرشکلی کنترل می‌شود. در سنگ‌های گرانیتوئیدی میزبان کانسنگ، تجمع کانه‌های فلزی، که به صورت رگه و رگچه‌های کوارتز-کربنات-سولفید رخداد دارند، در ساختارهای میلونیتی تا اولترامیلونیتی به شدت دگرسان شده تمرکز یافته است (شکل ۴). کانسنگ‌های طلا دار، بیشتر با دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی، سولفیدی و سرسیتی همراه هستند.

در این مطالعه، بر اساس نتایج آنالیز هشت نمونه کانسنگی برداشت شده از برونزدهای دگرشکل و دگرسان شده توده کوارتز سیلیتی در غرب کسنزان (جدول ۱)، بیشینه مقدار طلا و نقره در کانسنگ‌های طلا دار به ترتیب ۲/۷ و ۱/۳ گرم در تن اندازه‌گیری شده و نسبت طلا به نقره، ۱/۳ محاسبه شده است. نتایج آنالیز نمونه‌های کانسنگی حاکی از آن است که علاوه بر طلا و نقره، عناصر سرب (تا ۴۷۳ گرم در تن)، روی (تا ۱۳۵ گرم در تن)، مس (تا ۳۰۱ گرم در تن) و آرسنیک (تا ۱۱۲ گرم در تن) ناهنجار می‌باشند و تمرکزهای به نسبت



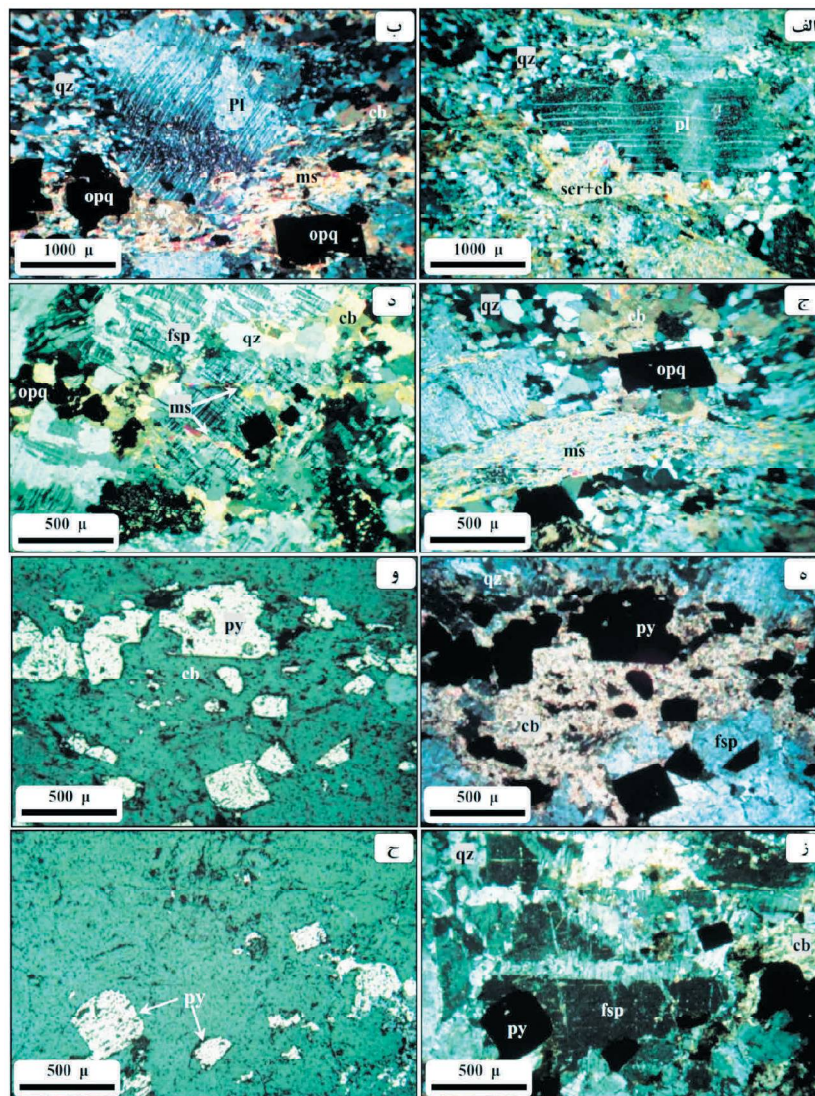


شکل ۳. موقعیت زمین‌شناسی و پتروگرافی توده گرانیتوئیدی میزبان کانی‌سازی طلا در محدوده غرب کسنزان، الف) توده کوارتز سینیتی در داخل واحد فیلیتی ( $K^{ph}$ ) که دربردارنده یک میان‌لایه آهکی ( $K^I$ ) است، نفوذ کرده است، ب، ج) نمای نزدیک‌تر از برآوردهای کوارتز سینیتی، که به‌شدت میلونیتی و دگرسان بوده و با برگوارگی میلونیتی همراه شده‌اند، د، ه) تصاویر میکروسکوپی از توده کوارتز سینیتی، که فابریک‌های دگرشکلی از جمله تبلور مجدد دینامیکی در بلورهای کوارتز و جابجایی ماکلی و نیز خمیدگی در پلاژیوکلازها را نشان می‌دهد. تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری با نیکول‌های متقاطع (XPL) برداشت شدند. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans (2010) اقتباس شده است. fsp: فلدسپار، pl: پلاژیوکلاز و qz: کوارتز



جدول ۱. نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از کانسنگ‌های طلا دار در غرب کسنزان. فراوانی عناصر برحسب گرم در تن (ppm) است

شماره نمونه	Ag	As	Au	Bi	Cu	Hg	Mo	Pb	Sb	Sn	Te	W	Zn
K-1	۱.۱۶	۸۰.۸۰	۰.۱۲	۰.۶۵	۹۵.۱۰	۰.۱۲	۱۲.۸۲	۴۷۲.۸۰	۳.۱۰	۰.۵۰	۰.۰۶	۰.۴۹	۱۳۵.۰۰
K-4	۰.۱۳	۶.۵۰	۰.۳۰	۰.۲۱	۳۷۶.۰	۰.۰۶	۲۰.۵۷	۱۷.۸۰	۰.۳۱	۰.۳۰	۰.۰۸	۰.۳۵	۳۵.۰۰
K-8	۰.۲۸	۶۵۶.۰	۰.۲۳	۰.۲۹	۶۱.۰۰	۰.۰۵	۵۶.۱	۱۸۰.۶۰	۲۶۳	۰.۶۰	۰.۰۳	۰.۱۸	۱۰۷.۰۰
K-10	۰.۸۱	۱۱۲.۰۰	۲.۷۱	۰.۹۰	۱۵.۷۵	۰.۳۰	۱۱.۲۰	۸۵.۰۰	۱۲.۰۰	۰.۳۲	۰.۱۲	۰.۱۸	۶۲.۰۰
K-13	۰.۶۱	۳۲۸.۰	۲.۵۶	۰.۸۳	۲۰.۴۰	۰.۰۴	۱۰.۸۳	۶۱.۰۰	۰.۶۴	۰.۳۰	۰.۱۰	۰.۱۵	۵۴.۰۰
K-14	۱.۲۹	۱۰۴.۷۰	۰.۱۲	۱.۲۳	۱۴.۱۰	۰.۳۱	۵.۱۷	۸۵.۵۰	۱۵.۳۱	۰.۹۰	۰.۰۸	۱.۱۵	۶۸.۰۰
K-16	۰.۵۲	۱۰۸.۵۰	۰.۲۱	۱.۲۵	۳۰۱.۲۰	۰.۳۳	۵.۳۰	۹۲.۳۰	۱۶.۳۲	۰.۹۴	۰.۰۸	۱.۱۶	۹۸.۰۰
K-17	۰.۲۰	۸۱.۲۰	۰.۱۶	۰.۸۹	۲۵۶.۳۰	۰.۲۱	۴.۷۶	۷۶.۰۰	۹۶۳	۰.۴۰	۰.۰۶	۰.۱۲	۴۶.۰۰



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های کانسنگی طلا دار، که از بخش‌های به شدت دگرشکل و دگرسان شده توده کوارتز سینیتی برداشت شده‌اند، الف تا د) سنگ‌ها به شدت دگرشکل بوده و فضاهای ایجاد شده در اثر میلونیته و خرد شدن کانی‌ها، توسط کوارتز، کربنات، سرسیت-موسکویت و کانی‌های تیره پر شده است. در شکل‌های الف، ب علاوه بر خردشدگی، فابریک خمیدگی در پلاژیوکلازها مشاهده می‌شود، (ه) فضاهای حاصل از خردشدگی میلونیته سنگ، توسط کربنات، کوارتز و پیریت پر شده‌اند، (و) همان تصویر (ه) در نور انعکاسی، (ز) فضای ریز رگچه‌های قطع کننده فلدسپارها توسط کربنات، فلدسپار و پیریت پر شده‌اند، (ح) همان تصویر (ز) در نور انعکاسی. تصاویر میکروسکوپی، به جز و، ح در نور عبوری با نیکول‌های متقاطع (XPL) برداشت شدند. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از (Whitney and Evans 2010) اقتباس شده است. cb: کربنات، fsp: فلدسپار، ms: موسکویت، pl: پلاژیوکلاز، opq: کانی‌های کدر، py: پیریت، qz: کوارتز و ser: سرسیت

## دگرسانی

توده کوارتز سینیت میلونیتی میزبان کانه‌سازی طلا، به‌واسطهٔ رخداد فابریک‌های میلونیتی-اولترامیلونیتی و نیز تغییر رنگ ظاهری حاصل از عملکرد سیالات گرمایی، که به دگرسانی سنگ‌ها منجر شده است، از سنگ‌های فیلیتی میزبان کانی‌سازی متمایز است. دگرسانی‌های رخ داده در گستره کانسار انواع سیلیسی، کربناتی، سولفیدی و سرسیتی را شامل می‌شود. مقایسهٔ نتایج آنالیز طلا و پتروگرافی نمونه‌های کانسنگی نشان می‌دهد که مقادیر بالاتر طلا (بیش از ۰/۱ گرم در تن) با بخش‌های دگرشکل و دگرسان شده از پهنهٔ بُرشی، که کم‌وبیش با مقادیر قابل توجهی از کانی‌های کوارتز، کربنات و کانه‌های سولفیدی همراه هستند، در ارتباط است (شکل‌های ۴ و ۵).

دگرسانی سیلیسی اصلی‌ترین نوع دگرسانی در کانسنگ‌های طلا دار محدوده جنوب کسنزان می‌باشد که به‌صورت رگه و رگچه‌های سیلیسی سولفیددار سفید رنگ در گرانیتهای میزبان رخ داده است. این دگرسانی در بخش‌های حاشیه‌ای توده میزبان کانی‌سازی، متحمل دگرشکلی شدیدتری شده‌اند (میلونیت-اولترامیلونیت)، از شدت بیشتر برخوردار است. کوارتزها و دیگر محصولات دگرسانی در فضا‌های حاصل از میلونیتی شدن سنگ میزبان تمرکز دارند. کوارتزها میزبان بیشترین ذرات طلا می‌باشند. دگرسانی کربناتی به‌صورت رخداد کانی‌های کربناتی (بیشتر آنکریت) و در همراهی با کوارتز، سرسیت، سولفیدها (و بیوتیت) تشکیل شده است.

سرسیت و بیوتیت به‌عنوان محصولات فرعی دگرسانی (با فراوانی کمتر از پنج درصد)، کانی‌های اصلی دگرسانی را همراهی کرده‌اند. سرسیت به‌صورت کانی‌های ورقه‌ای شکل پراکنده در متن سنگ و در سیمای عمومی‌تر به‌صورت رشته‌های طویل و تاب‌دار در همراهی با سایر کانی‌های دگرسانی مشاهده شده است. همچنین سرسیت در مقادیر کم، به‌صورت محصول دگرسانی پورفیروکلاست‌های فلدسپاری مشاهده شده است. بیوتیت نیز در مقادیر خیلی کم و به‌صورت رشته‌های کوتاه در همراهی با کانی‌های دگرسانی سولفیددار، رخداد دارد.

دگرسانی سولفیدی، به‌صورت رخداد کانی‌های سولفیدی

(پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن) مشاهده شده است. سولفیدها کم‌وبیش یک تا سه درصد از حجم کانسنگ را تشکیل داده و با افزایش شدت دگرشکلی و شدت دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی و سرسیتی، بر مقدار سولفیدها نیز افزوده می‌شود (شکل ۵). تعدادی از ذرات طلا در پیریت‌ها مشاهده شده‌اند.

## ساخت، بافت و کانی‌شناسی

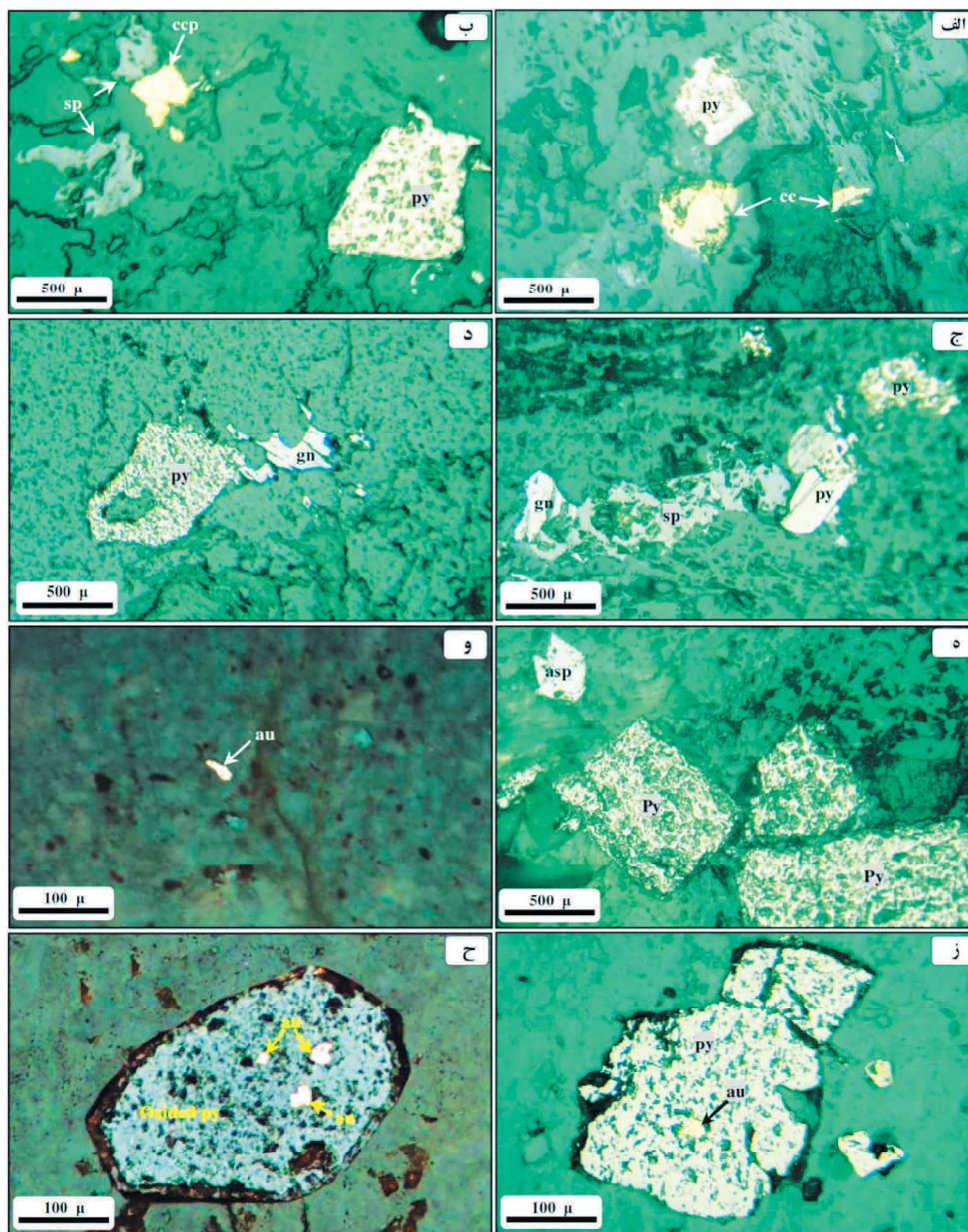
اصلی‌ترین ساخت و بافت‌های کانسنگ‌های طلا دار محدوده غرب کسنزان، میلونیتی و اولترامیلونیتی می‌باشد (شکل ۴) که به‌صورت رخداد رگه و رگچه‌های کوارتز-سولفیدی در ضخامت‌های کمتر از پنج میلی‌متری در توده کوارتز سینیتی رخ داده‌اند. براساس مطالعات پتروگرافی و کانه‌نگاری نمونه‌های کانسنگی، کانی‌های فلزی موجود در کانسار ساده بوده و شامل کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، آرسنوپیریت، مگنتیت، طلا و ترکیبات هیدروکسیدی آهن می‌باشند.

پیریت به‌عنوان فراوان‌ترین کانهٔ سولفیدی، کم‌وبیش کمتر از پنج درصد از حجم کانسنگ و بیش از ۹۰ درصد محتوای کانه‌های سولفیدی را تشکیل داده است (شکل ۵). پیریت‌ها به تبعیت از فضای تشکیل، بیشتر به‌صورت نیمه‌شکل دار تا خود شکل و در اندازه‌های کوچک‌تر از ۱۰ میکرون تا سه میلی‌متر مشاهده شده‌اند. براساس روابط بافتی، پیریت‌ها بیشتر در ریز رگچه‌های قطع کننده کانسنگ و در همراهی با کانی‌های کوارتز، کربنات، فلدسپار، سرسیت-موسکویت (و بیوتیت) تشکیل شده‌اند (شکل ۵). پیریت‌ها با سایر کانه‌های سولفیدی و طلا هم‌رشد بوده و گاه حاوی میان‌بارهایی از طلا می‌باشند (شکل‌های ۵-ز، ح). کالکوپیریت با فراوانی کم و به‌صورت کانی‌های بی‌شکل با اندازه‌های کوچک‌تر از ۵۰۰ میکرون در کانسنگ پراکنده است (شکل‌های ۵-الف، ب). بیش‌تر کالکوپیریت‌ها هم‌رشد با پیریت‌ها می‌باشند و هم‌زمان با سایر کانه‌های سولفیدی تشکیل شده‌اند (شکل ۵-الف). گالن و اسفالریت در اندازه‌های کوچک‌تر از ۴۰۰ میکرون و با فراوانی کم در کانسنگ حضور دارند. با توجه به روابط بافتی، این کانه‌ها اغلب به‌صورت هم‌زمان با پیریت‌ها و کانی‌های دگرسانی گرمایی تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۵-ج، د). ذرات پراکنده



درصد، به صورت ریزبلورهای کشیده و تیغه‌ای شکل همروند با برگرارگی‌های میلونیستی در مقاطع مشاهده شده‌اند. هوازگی سبب اکسایش کانه‌های سولفیدی (بیشتر پیریت) و تشکیل ترکیبات هیدروکسیدی آهن شده است. با توجه به روابط بافتی و کانی‌شناسی نمونه‌های کانسنگی توالی پاراژنزی کانی‌ها در کانسار طلای کسنزان در شکل ۶ رسم شده است.

آرسنوپیریت، در تعداد انگشت شمار و در اندازه‌های کوچک‌تر از ۳۵۰ میکرون در کانسنگ مشاهده شده‌اند (شکل ۵-ه). مگنتیت به صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار و در اندازه‌های کوچک‌تر از یک میلی‌متر و در همراهی با کانه‌های سولفیدی مشاهده شدند. بلورهای مگنتیت کم‌وبیش مارتیتی شده‌اند. اکسیدهای تیتان با فراوانی حدود یک



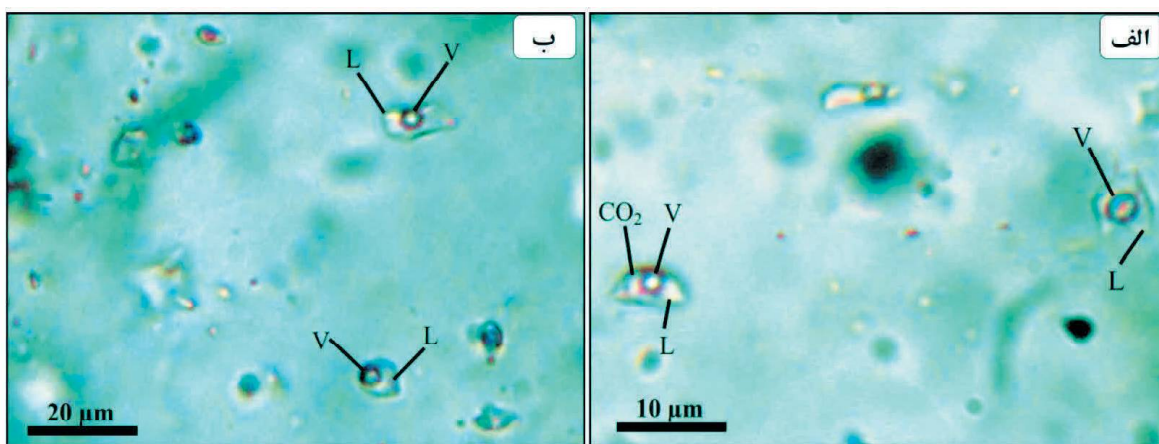
شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی (نور انعکاسی) از تنوع و روابط بافتی کانی‌های فلزی در کانسنگ‌های طلای غرب کسنزان، الف) پیریت‌های خودشکل تا نیمه شکل دار، به‌عنوان اصلی‌ترین کانه سولفیدی، در همراهی با کالکوپیریت، ب) پیریت در همراهی با کالکوپیریت و اسفالریت، ج) هم‌رشدی اسفالریت، پیریت و گالن، د) هم‌رشدی پیریت و گالن، ه) همراهی پیریت و آرسنوپیریت، و) ذره طلا در زمینه‌ای از کوارتز، ز) ذره طلا به صورت میان‌بار در پیریت، ح) ذرات طلا به صورت میان‌بار در پیریت‌هایی که به ترکیبات هیدروکسیدی آهن تبدیل شده‌اند، مشاهده می‌شوند. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans (2010) اقتباس شده است. asp: آرسنوپیریت، au: طلا، ccp: کالکوپیریت، gn: گالن، py: پیریت، sp: اسفالریت



گاز  $(L+L(CO_2)+V)$  می‌باشند. گستره ذوب  $(T_m CO_2)$  در این نوع از میان‌بارها، از  $-58/0$  تا  $-58/5$  درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. گستره ذوب  $T_{m-Clath}$  نیز یک تا  $7/1$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این مطالعه، دمای همگن‌شدگی بخار  $CO_2$  به فاز مایع از  $17/4$  تا  $27/3$  درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. دمای همگن شدن کلیه فازها به فاز یکنواخت گازی در گستره  $307$  تا  $397$  درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و شوری این نوع از میان‌بارها از  $5/5$  تا  $14/4$  درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد (جدول ۲).

در گستره  $137/4$  تا  $240/5$  درجه سانتی‌گراد رخ داده است (شکل ۸-الف). گستره ذوب آخرین قطعه یخ  $(T_{m-ice})$  از  $-8/3$  تا  $0/7$  درجه سانتی‌گراد ثبت شد که معادل شوری  $1/16$  تا  $12/06$  (با میانگین  $4/93$ ) معادل درصد وزنی  $NaCl$  می‌باشند (جدول ۲ و شکل ۸-ب).

در این مطالعه، تعداد هشت میان‌بار سیال  $CO_2$  دار با اندازه‌های شش تا  $10$  میکرون، که در کوارتزها حضور داشتند نیز مورد مطالعه قرار گرفتند. میان‌بارهای مذکور، با شکل نامنظم و از نوع دو فاز مایع غیرقابل آمیختن به همراه حباب



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی (دمای اتاق و نور عبوری با نیکول‌های موازی) از میان‌بارهای سیال اولیه دو فازی غنی از مایع (LV) موجود در کوارتزهای کانسنگ طلا دار محدوده غرب کسنزان. L: فاز مایع و V: فاز بخار

جدول ۲. خلاصه داده‌های مطالعات ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال اولیه دو فازی نوع  $LV$  و  $LV_{hh}$  در کانی کوارتز کانسار کسنزان

Incl. type	Size ( $\mu m$ )	$T_e$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{m-ice}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{m-Clath}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_h$ ( $^{\circ}C$ )	Salinity (wt. % NaCl equiv.)
LV (n=74)	18-5	-30 تا -21/2	-8/3 تا 0/7	-	240/5 تا 137/4 (184/5)	1/16 تا 12/06 (4/93)
L+L(CO <sub>2</sub> )+V (n=8)	10-6	-58/5 تا -58/0	-	7/1 تا 1	397-307	14/4-5/5

اعداد داخل پرانتز مبین بیشترین فراوانی است.  $T_e$  = دمای اولین نقطه ذوب یخ،  $T_{m-ice}$  = دمای ذوب آخرین قطعه یخ،  $T_{m-Clath}$  = دمای انحلال کلاتریت،  $T_h$  = دمای همگن‌شدن

(Valenza et al., 2000).

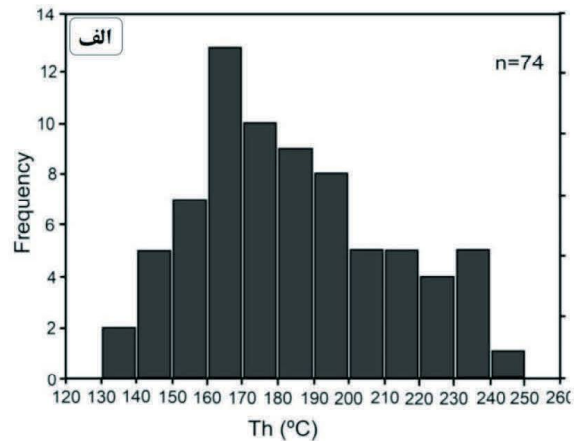
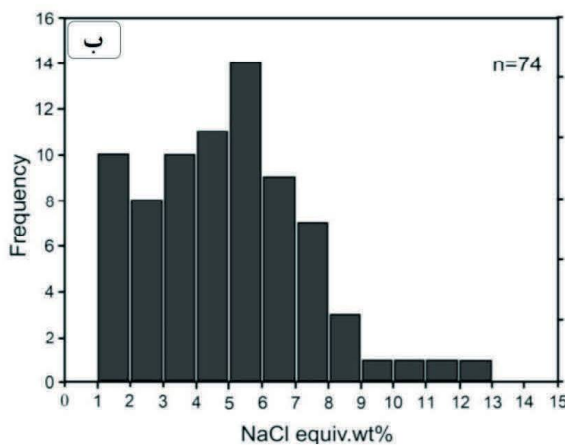
در شکل ۹ و براساس نمودار تغییرات دمای همگن‌شدن در برابر شوری، روند تحول سیال کانه‌ساز در کانسنگ‌های طلا دار غرب کسنزان آورده شده است. این نمودار روندی از اختلاط یک سیال گرمایی با دمای متوسط و شوری متوسط را با سیال دیگر با شوری و دمای پایین‌تر نشان می‌دهد که می‌تواند با ترکیبی از فرایندهای رقیق‌شدگی و اختلاط سازگار باشد (Wilkinson, 2001). سیال رقیق‌کننده

نمودار شوری برای میان‌بارهای سیال اولیه غنی از مایع (تیپ L+V) برای کانی‌سازی طلای غرب کسنزان در شکل ۸-ب نشان داده شده است. گستره اولین نقطه ذوب یخ یا اوتکتیک ( $T_e$ ) در برخی سیالات تا  $-30$  درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است که نشان می‌دهد، سیال کانه‌ساز فقط به صورت یک شوراب  $NaCl$  نمی‌باشد، بلکه ممکن است علاوه بر کلرید سدیم حاوی نمک‌های دیگری از جمله منیزیم، پتاسیم، کلسیم، آهن و منگنز نیز می‌باشد

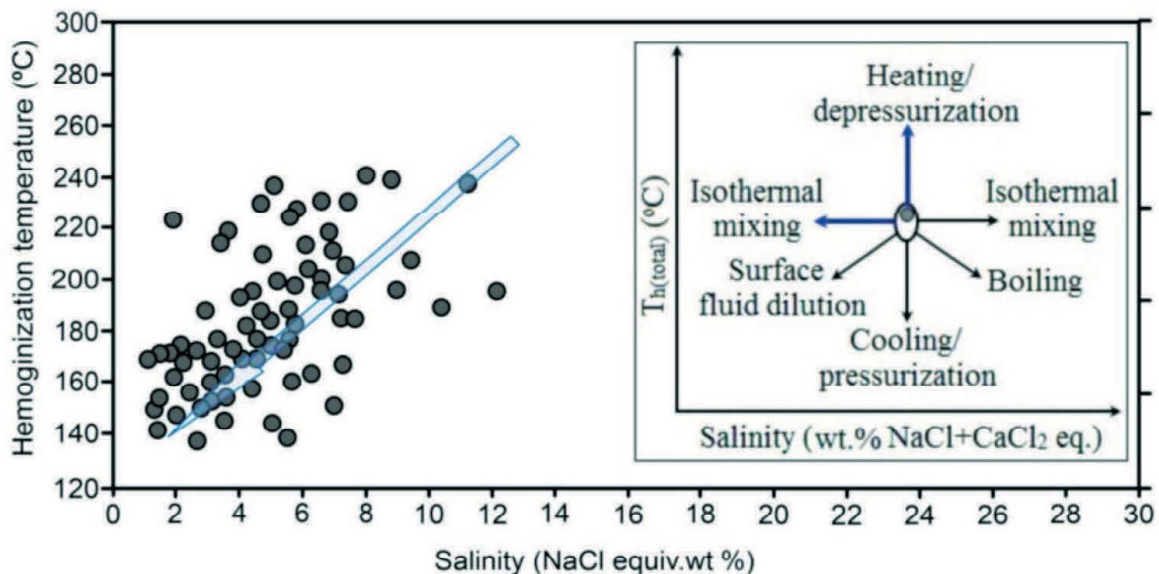


داده‌های میان‌بارهای سیال در محدوده غرب کسنزان نشان‌دهنده سیالاتی با شوری پایین و دمای متوسط هستند و مقایسه نتایج حاصل از مطالعات ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال در کانسار طلای غرب کسنزان، با ویژگی سیالات کانه‌ساز توصیف شده برای کانسارهای نوع کوهزایی (Wilkinson, 2001) قابل مقایسه است و به لحاظ عمق تشکیل با موقعیت کانسارهای طلای مزوزونال (Groves et al., 1998; Goldfarb et al., 2005) منطبق می‌باشد.

می‌تواند آب‌های با منشأ جوی بوده باشد که در محل نهشت کانسنگ‌های طلا، با سیالات کانه‌دار دگرگون‌زاد غنی از  $CO_2$  اختلاط کرده و موجب رقیق‌شدگی و نهشت سیالات کانه‌دار شده است. همچنین با توجه به نمودار ژرفا-دما (Hass, 1971) و براساس بیشینه دمای همگن‌شدگی میان‌بارهای سیال، کمینه ژرفای کانه‌زایی در محدوده غرب کسنزان حدود ۶/۴ کیلومتر (فشار معادل یک کیلو بار) زیر سطح ایستایی قدیمی می‌باشد.



شکل ۸. الف) نمودار دماهای همگن شدن به فراوانی میان‌بارهای سیال، ب) نمودار درجه شوری به فراوانی میان‌بارهای سیال در کانی‌های کوارتزی موجود در کانسنگ طلا در محدوده غرب کسنزان



شکل ۹. نمودار دوتایی دمای همگن شدن نهایی در مقابل شوری برای داده‌های میان‌بارهای سیال در محدوده غرب کسنزان. روندها نشان‌دهنده فرآیند آمیختگی و رقیق‌شدگی حین تحول سیال گرمایی می‌باشد. نمودار شماتیک داخلی بیانگر روندهای معمول میان‌بارهای سیال در فضای شوری-دما می‌باشد ناشی از فرآیندهای مختلف تحول سیال (Wilkinson, 2001) می‌باشد

## نتیجه‌گیری

پهنه سندنجد-سیرجان، به لحاظ موقعیت ژئودینامیکی و قرار داشتن در حاشیه قاره پتانسیل بالایی در میزبانی ذخایر طلای کوهزایی از جمله مجموعه معادن طلای موته و ذخایر طلا در گستره سقز-پیرانشهر را داراست. با توجه به موقعیت تکتونیکی و ماهیت سنگ میزبان، ساخت، بافت، کانی‌شناسی، نوع دگرسانی‌ها و نیز ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و پاراژنز عنصری کانسنگ، کانی‌سازی طلا در محدوده غرب کسنزان بیش‌ترین شباهت را با ذخایر تیپ کوهزایی نشان می‌دهد. بررسی داده‌های میان‌بار سیال بیانگر آن است که سیالات کانی‌سازی در این کانسار، مشابه با اغلب کانسارهای طلای کوهزایی، سیالاتی داغ با دمای ۱۳۷/۴ تا ۲۴۰/۵ (با میانگین ۱۸۴/۵) درجه سانتی‌گراد و شوری ۷/۱۶ تا ۱۲/۰۶ (با میانگین ۴/۹۳) درصد وزنی معادل NaCl، همراه با فازهای مایع و گازی CO<sub>2</sub> می‌باشند. روند تحول سیال کانه‌ساز در کانسنگ‌های طلا دار غرب کسنزان، ترکیبی از فرآیندهای رقیق‌شدگی و اختلاط را نشان می‌دهد که در طی آن یک سیال گرمایی با دما و شوری متوسط (با منشاء دگرگونی) با سیال دیگر با شوری و دمای پایین‌تر (با منشاء جوی) اختلاط یافته است.

مجموع مشاهدات صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که کانسنگ‌های طلا دار در محدوده غرب کسنزان مشابه با اغلب کانسارهای طلای کوهزایی در ارتباط با پهنه بُرشی به‌شدت دگرشکل شده و دگرسان شده رخ داده است. کانه‌زایی طلا در واحد کوارتز سینیت که در پهنه بُرشی تزریق شده، رخ داده است. کانسنگ طلا در همراهی با دگرشکلی‌های میلیونیتی و اولترامیلونیتی که اثر عملکرد پهنه بُرشی بر روی توده کوارتز سینیتی میزبان نقش بسته، تشکیل شده است. دگرسانی‌های گرمایی شامل سیلیسی، کربناتی، سرسیتی و سولفیدی کانسنگ‌ها طلا را همراهی می‌کنند. مطالعات ریزساختاری و پتروگرافی نمونه‌های کانسنگی در بخش‌های مختلف زون‌های کانه‌دار نشان می‌دهد که بالاترین عیار طلا با ظهور فابریک‌های میلونیت-اولترامیلونیتی، که به‌شدت دگرسان شده و حاوی مقادیر قابل توجهی کانه‌های سولفیدی هستند، منطبق است. در این رابطه، هرچه شدت

دگرشکلی و دگرسانی رخ داده در کانسنگ‌ها بیشتر بوده است، مقدار طلای بالاتری را نشان داده است.

## سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه تهران به خاطر حمایت‌های مالی و از مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به جهت آنالیز زمین‌شیمیایی نمونه‌ها و نیز مطالعه میان‌بارهای سیال تشکر نمایند.

## منابع

- تاج‌الدین، ح.، ۱۳۹۰. عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی طلا در سنگ‌های دگرگون‌شده منطقه سقز-سردشت، شمال غرب پهنه دگرگونه سندنجد-سیرجان. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۴۴۳.
- تاج‌الدین، ح.، ۱۳۸۷. اکتشاف و معرفی کانه‌زایی طلا در جنوب روستای قیغلوچه (قیغلوچه جنوبی، جنوب غرب سقز، استان کردستان). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۵.
- حریری، ع. و فرجندی، ف.، ۱۳۸۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حیدری، س.، م.، ۱۳۸۳. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه برشی خمیری منطقه کرویان (جنوب غربی سقز، استان کردستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۱۸.
- علی‌یاری، ف.، ۱۳۸۵. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه‌های بُرشی قلقله، جنوب غرب سقز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۷۰.
- مقصودی، ع.، رحمانی، م. و رشیدی، ب.، ۱۳۸۴. کانسارها و نشانه‌های معدنی طلا در ایران. نشر آراین زمین، ۳۸۸.
- نصرت پور، ه.، ۱۳۸۶. مطالعه کانه‌زایی طلا در پهنه برشی قیغلوچه (جنوب غربی سقز، کردستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۰.
- نیرومند، ش.، ۱۳۸۹. بررسی‌های زمین‌شناختی، کانی‌شناختی، زمین‌شیمیایی و ژنز ذخیره معدنی طلای خراپه-زیتون جیان (استان آذربایجان غربی-شمال شرق پیرانشهر). رساله دکتری، دانشگاه شیراز، ۳۶۰.

- Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M. and Arehart, G.B., 2009. Geology and geochemistry of D-O-C isotope systematics of the Qolqoleh gold deposit, Northwestern Iran: Implications for ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 36, 306-1314.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R. and Gosselin, P., 2005. Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology*. 100th Anniversary, 407-450.
- Goldfarb, R.J. and Groves, D.I., 2015. Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos*, 233, 2-26.
- Goldstein, R.H. and Reynolds, T.J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *SEPM Short, Course*, 31.1-198.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F. and Hart, C.J.R., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research and exploration significance. *Economic Geology*, 98, 1-29.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G. and Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13, 7-27.
- Hall, D.L., Sterner, S.M. and Bodnar, R.J., 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O solutions. *Economic Geology*, 83, 197-202.
- Hass, J.L., Jr., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology*, 66, 940-946.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahanidi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 397-412.
- Niromand, Sh., Goldfarb, R.J., Moore, F., Mohajjel, M. and Marsh, E.E., 2011. The Kharapeh orogenic gold deposit: Geological, structural, and geochemical controls on epizonal ore formation in west Azerbaijan province, northwest Iran. *Mineralium Deposita*, 46, 409-428.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions. *Reviews in Mineralogy*, 12, 664.
- Sheikholeslami, M.R., 2002. Evolution structurale et métamorphique de la marge sud de la microplaque de l'Iran central: les complexes métamorphiques de la région de Neyriz (Zone de Sanandaj-Sirjan). The'se, université de Brest, 194.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. Blackie, Glasgow, 223.
- Sterner, S.M., Hall, D.L. and Bodnar, R.J., 1988. Synthetic fluid inclusions: V. solubility relations in the system NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O under vaporsaturated conditions. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 52,5, 989-1005.
- Valenza, K., Moritz, R., Mouttaqi, A., Fontignie, D. and Sharp, Z., 2000. Vein and karst barite deposits in the western Jebilet of Morocco: fluid inclusion and isotope (S, O, Sr) evidence for regional fluid mixing related to central Atlantic Rifting. *Economic Geology*, 95,3, 587-606.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95,1, 185-187.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55, 229-272.